38
数理解析研究所講究録
577巻 1985年 38-49

C^1級葉層構造の存在について

東大教養　坪井俊 (Takashi TSUBOI)

$m+n$ 次元多様体 X 上の余次元 n, C^r級($r\geq 1$) 葉層構造$\mathcal{F}$ は次をみたす $(\{U_\lambda\}, f_\lambda, g_{\lambda\mu})$ で与えられる：

$\{U_\lambda\}$ は X の開被覆,

$f_\lambda : U_\lambda \longrightarrow R^n$ は C^∞ submersion,

$g_{\lambda\mu} : f_\mu(U_\lambda \cap U_\mu) \longrightarrow f_\lambda(U_\lambda \cap U_\mu)$ は C^r 級微分同相で,

$f_\lambda = g_{\lambda\mu} f_\mu$ を満たす。

C^r級($r\geq 1$) 葉層構造$\mathcal{F}$に対して、その接束$T\mathcal{F}$が定まる。次の結果を得た。

定理. TX の部分束Eを与えた時、C^1級葉層構造$\mathcal{F}$で、$T\mathcal{F}$がEとホモトープであるものが存在する。

これは、C^r級($r\geq 2$) 葉層の Bott の消滅定理 [$\mathcal{F}$が余次元 n, C^r ($r\geq 2$) $\Longrightarrow$ $TX/T\mathcal{F}$ の特性類 $\in H^i(X;R)$ ($i>2n$) は零] と

いちじるしい対照を示している。

我々の定理は Haefliger, Mather, Thurston 達の定理により、次の定理に帰着される。(例えば [2], [4] 参照。)

定理 $B\overline{\mathrm{Diff}}{}^1_c(\mathbb{R}^n)$ は acyclic である。

ここで、$G = \mathrm{Diff}^1_c(\mathbb{R}^n)$ は台がコンパクトな $\mathbb{R}^n$ の C^1 級微分同相群に C^1 位相を入れたものであり、G^δ を G に離散位相を入れたものとするとき、$B\overline{G}$ は分類空間の間の自然な写像 $B\,id : BG^\delta \longrightarrow BG$ のホモトピーファイバーである。$B\overline{\mathrm{Diff}}{}^1_c(\mathbb{R}^n)$ は台がコンパクトな C^1 級葉層 $\mathbb{R}^n$ 積の分類空間である。

定理の証明は $G = \mathrm{Diff}^1_c(\mathbb{R}^n)$ の Denjoy-Pixton 可換部分群と C^1 級葉層 $\mathbb{R}^n$ 積のノルムがファイバー方向の相似変換で不変であることを使って $B\overline{G}$ のチェイン複体上で恒等写像と自明写像の間のチェインホモトピーを構成することによりなされる。

§1. $\mathrm{Diff}^1_c(\mathbb{R}^n)$ の可換部分群

$PG = \{f : [0, 1] \longrightarrow G\ ;\ f(0) = id\}$ とおく。実際に必要とされるのは、次の性質をもつ準同型 $\Phi_N : \mathbb{Z}^N \longrightarrow PG$ である。但し、N は任意の正整数をとる。

(i). $\mathbb{R}^n$ の開球 U_k $(k=1,\cdots,N)$ が存在し、$\lambda\in\mathbb{Z}^k\times\{0\}^{N-k}$ に対し、$\overline{\Phi}(\lambda)(\overline{U_k})$ は disjoint. 但し、$\overline{\Phi}(\lambda)=\Phi(\lambda)^{(1)}$.

(ii). $\lambda\in\{0\}^k\times\mathbb{Z}^{N-k}$ に対し、$\Phi(\lambda)$ の台は $\mathrm{Cl}\bigcup_{\lambda'\in\mathbb{Z}^k\times\{0\}^{N-k}}\overline{\Phi}(\lambda')(\overline{U_k})$ に含まれる。

(iii). $\lambda\in\mathbb{Z}^N$ に対し、$\overline{\Phi}(\lambda)|\overline{U_N}: U_N\longrightarrow\overline{\Phi}(\lambda)(\overline{U_N})$ は smooth.

(iv). 次のような定数 C_N が存在する。任意の $\lambda\in\mathbb{Z}^N$, U_N に台をもつ任意の C^1 級ベクトル場 ξ に対し、

$$|\overline{\Phi}(\lambda)_*\xi|_1\leqq C_N|\xi|_1 .$$

但し、$|\ |_1$ は C^1-ノルムである。

注意. $n=1$、すなわち $\mathbb{R}$ 上では、Φ は Denjoy-Pixton の作用を与える。(いわゆる Denjoy flow が存在するのと同じ理由で存在する作用である。) これは C^1 級微分同相群に特有の現象である。実際、$\mathrm{Diff}^2_c(\mathbb{R})$ に対しては、$N\geqq 2$ に対して上の(i)をみたす Φ_N は存在しない (Kopell の定理)。

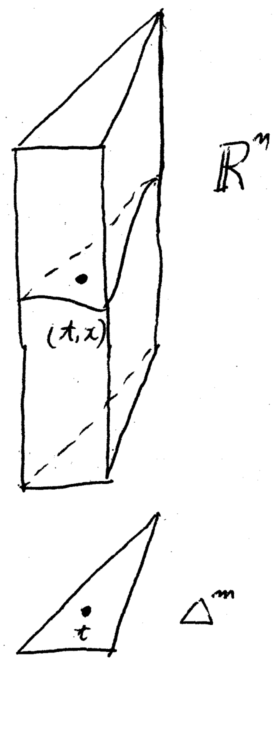
予想. $r\geqq 2$, $N\geqq n+1$ で次のような $\Phi:\mathbb{Z}^N\longrightarrow\mathrm{Diff}^r_c(\mathbb{R}^n)$ は存在しない。$\exists$ open set U s.t. $\Phi(\lambda)(U)$, $\lambda\in\mathbb{Z}^N$ are disjoint.

さて、上のような Φ_N をつくるには、$\mathbb{R}$ 上のアフィン変換群

を、R をコンパクト化した閉区間に、両端で各元の作用が id に ∞-tangent となるように拡張したものを使うとよいのだが、ここではこれ以上深入りしないことにする。

§2. Cubic complex.

$G = \mathrm{Diff}^1_c(R^n)$ に対し、$B\overline{G}$ は次のように構成される。$S_*(G)$ を G の特異単体複体とする。G は $S_*(G)$ に右から自由に作用する。これは、特異 m 単体 $\sigma : \Delta^m \longrightarrow G$, $g \in G$ に対し、$\sigma g : \Delta^m \longrightarrow G$ を $(\sigma g)(t) = \sigma(t) g$ $(t \in \Delta^m)$ とすることにより定義される。このG作用は $S_*(G)$ の境界作用子と可換で、$S_*(G)/G$ は半単体的複体となる。$B\overline{G}$ は、これの実現 $|S_*(G)/G|$ として得られる。



$\sigma : \Delta^m \longrightarrow G$ は Δ^m 上の葉層 R^n 積 $\mathcal{F}_\sigma$ を定める。ここで、$\mathcal{F}_\sigma$ の $(t, x) \in \Delta^m \times R^n$ を通る葉は、

$$\{(u, \sigma(u)\sigma(t)^{-1}(x))\ ;\ u \in \Delta^m\} \subset \Delta^m \times R^n$$

である。σ と σg は同じ葉層積を定める。こうして、$B\overline{G}$ の m 単体と Δ^m 上の葉層 R^n 積（C^1 で台が compact なもの）は1対1に対応する。あるいは、このような単体上

の葉層積を自然に貼りあわせてBGが構成されている。

葉層積の台，ノルムについて述べておく。([2],[3]).

有限複体Y上の葉層$\mathbb{R}^n$積$\mathcal{F}$の台，Supp $\mathcal{F}$とは$\mathbb{R}^n$の閉集合Kで「$Y\times(\mathbb{R}^n-K)$で葉層は積葉層，すなわち葉は水平である」ようなもののうち最小のもののことである。

$\mathrm{Diff}^1_c(\mathbb{R}^n)$の$C^\infty$多様体構造に対し，$C^\infty$であるような特異$m$単体$\sigma:\Delta^m\longrightarrow \mathrm{Diff}^1_c(\mathbb{R}^n)$を考える。対応する葉層積$\mathcal{F}_\sigma$のノルムは，$\sigma(u)\sigma(t)^{-1}$の$u=t$における接写像$X_t: T_t\Delta^m\longrightarrow \mathfrak{X}^1_c(\mathbb{R}^n)$（$\mathbb{R}^n$上の台がコンパクトな$C^1$級ベクトル場のなす空間）のノルムの上限$\sup_t\|X_t\|$として得られる。これを$\|\mathcal{F}_\sigma\|$又は$\|\sigma\|$と書く。このノルムはファイバー方向の相似変換で不変である（C^1級だから）。

BGのホモロジーは半単体的複体$S_*(G)/G$に付随するチェイン複体のホモロジーであるが，我々は，正規化した立方体的複体$Q'_*(G)/G$を使ってこれを計算する。対角線に沿って分割する写像$Q'_*(G)/G\longrightarrow S'_*(G)/G$が，ホモロジーで全射であることはすぐわかるので，これが自明写像となることを示すのである。さらに$\hat{Q}_*(G)/G$というものを考える([3])。これは，singular m-cubeを全順序集合Ωのm元部分集合Aに対して，$[0,1]^A\longrightarrow G$となるものとして定める。($\varepsilon=0,1$, $i\in A$に対し，$\partial_i^\varepsilon Q:[0,1]^{A-\{i\}}\longrightarrow G$である。)

さて，$Q_j:[0,1]^A\longrightarrow G$ ($j\in J$) 可算個のsingular cubeに対し

$\mathrm{Supp}\, Q_j = \mathrm{Supp}\, \mathcal{F}_{Q_j} \subset K_j$ で，K_j は interior disjoint としよう。Q_j（に対応する葉層積）を寄せあつめた葉層積 $\bigcup Q_j$ が考えられる。$\bigcup Q_j$ は $[0,1]^A \times K_j$ で $\mathcal{F}_{Q_j}$ と一致し，$[0,1]^A \times (\mathbb{R}^n - \bigcup K_j)$ では水平な葉をもつものである。このとき，$\|Q_j\|$ が零に収束し，$\bigcup K_j$ が有界ならば，$\bigcup Q_j$ は G の singular cube となる。

さて，正整数 N，$i \in A$ に対し，函数

$$\nu_i : J \times \{1, \cdots, N\} \longrightarrow \mathbb{R}$$

で $\nu_i(j,k) \geqq 0$ $\displaystyle\sum_{k=1}^{N} \nu_i(j,k) = 1$ をみたすものが与えられたとしよう。このとき $\kappa_i^\nu : [0,N] \times J \longrightarrow [0,1]$ を

$$\kappa_i^\nu(t,j) = \sum_{k=1}^{[t]} \nu_i(j,k) + \nu_i(j,[t]+1)\{t-[t]\}$$

で定義する。さらに，$h_j^\nu : [0,N]^A \longrightarrow [0,1]^A$ を次で定める。

$$h_j^\nu(t_{i_1}, \cdots, t_{i_a}) = (\kappa_{i_1}^\nu(t_{i_1}, j), \cdots, \kappa_{i_a}^\nu(t_{i_a}, j)).$$

$Q = \bigcup Q_j : [0,1]^A \longrightarrow G$ が $\mathrm{Supp}\, Q_j \subset K_j$ をみたすとき，

$$h_A^\nu Q = \bigcup Q_j h_j^\nu : [0,N]^A \longrightarrow Q$$

が得られる。2つの ν_i, ν_i' に対し，$h_A^\nu Q$ と $h_A^{\nu'} Q$ は homotopic で，線型ホモトピー $h_A^{\nu\nu'} Q = \bigcup_{j \in J} Q_j h_j^{\nu\nu'}$ で結ばれる。これを $t_i = k$ $(i \in A,\ k = 1, \cdots, N-1)$ で cut したものは，Q が smooth であれば，smooth となる。これを $H_A^{\nu\nu'} Q$ と書く。

とくに，$\delta_i : J \times \{1, \cdots, N\} \to \mathbb{R}$ を $\delta_i(j,1) = 1$ とする函数とすると，$h_A^\delta Q$（を cut したもの）は Q に degenerate chain を加えたもので，$\hat{Q}'_*(G)/G$ では Q に等しい。

また，$J=\{1,\cdots,N\}$ で，$\nu_i(j,k)=1 \Longleftrightarrow j=k$ のとき $H_A^{\delta\nu}Q = PQ$ は partition と呼ばれる。このとき $h_A^{\nu}Q$ は Q を K_j に"制限したもの"と"decomposable" chain の和になる。([3]).

§3. chain の構成.

さて，smooth singular cube $Q:[0,1]^m \longrightarrow G$ に対して，それの infinite iteration となる singular cube を構成する。

§1の主をとり，N を $m+1$ より十分大とし，inclusion $\mathbb{Z}^{m+1} = \mathbb{Z}^{m+1}\times 0 \subset \mathbb{Z}^N$ を固定する。Q の台は $U=U_N$ に含まれるとする。$\beta_0, \beta_1, \cdots, \beta_m$ を $\mathbb{Z}^{m+1}$ の基底とする。$\underline{\underline{m}}=\{1,\cdots,m\}$ とおき，$A\subset \underline{\underline{m}}$ に対し，$\beta_A = \sum_{i\in A}\beta_i$，$\gamma_A = \beta_0+\beta_A$ とおく。Λ を $\{\gamma_A ; A\subset \underline{\underline{m}}\}$ により生成される $\mathbb{Z}^{m+1}$ の部分半群とする。Λ は原点から出て $\{1\}\times[0,1]^m$ を通る半直線全体の和集合に含まれる整数点全体である。これの境界を考えて，$\partial_i^0\Lambda$，$\partial_i^1\Lambda$ が定義される。

Λ の元には $\{\gamma_A\}$ に対する word length が定義される。長さ l の元は $l\beta_0+\sum_{i=1}^m l_i\beta_i$ の形で $0\leqq l_i \leqq l$ であるから，$(l+1)^m$ 個存在する。

$\lambda = l\beta_0+\sum_{i=1}^m l_i\beta_i$ に対し，$g_\lambda : [0,1]^m \longrightarrow [0,1]^m$ を

$$j_\lambda(t_1, \cdots, t_m) = \left(\frac{l_1+t_1}{l+1}, \cdots, \frac{l_m+t_m}{l+1} \right)$$

と定義し，$Q_\lambda = \overline{\Phi}(\lambda) Q j_\lambda$ とおく。$l \to \infty$ のとき C^1-ノルム $\|Q_\lambda\| \longrightarrow 0$ である。このことから $A \subset \underline{m}$ に対し次の singular cube が well defined となる。

$$I(\Lambda, A) Q = \bigcup_{\lambda \in \Lambda - (\partial^1_{j_1} \Lambda \cup \cdots \cup \partial^1_{j_u} \Lambda)} \partial^1_{j_1} \cdots \partial^1_{j_u} Q_\lambda : [0,1]^A \longrightarrow G.$$

ここで $\{j_1, \cdots, j_u\} = \underline{m} - A$ である。$I(\Lambda, \underline{m}) Q = \bigcup Q_\lambda$ である。$I'(\Lambda, A) Q = I(\Lambda, A) Q \ (A \subsetneqq \underline{m})$，$I'(\Lambda, \underline{m}) Q = \bigcup_{\lambda \in \Lambda - \{0\}} Q_\lambda$ とおく。

$Cl \bigcup_{\lambda \in \Lambda} \overline{\Phi}(\lambda)(U)$ に台をもつ singular cube に対するいくつかの partition をつかう。これは Λ の分割を指定することにより定まる。P^ε_i を $\Lambda - \partial^\varepsilon_i \Lambda$ と $\partial^\varepsilon_i \Lambda$ に関する partition とする。$i \in \underline{m} - A$，$Q : [0,1]^A \longrightarrow G$ に対し，$P^\varepsilon_i Q$ は $[0,1]^{A \cup \{i\}}$ 上の chain と考えることにする。但し，

$$\partial^0_i P^0_i Q = g^0_i Q + f^0_i Q + r^0_i Q, \quad \partial^1_i P^0_i Q = Q$$
$$\partial^0_i P^1_i Q = Q, \quad \partial^1_i P^1_i Q = g^1_i Q + f^1_i Q + r^1_i Q$$

となるようにホモトピーの向きを定める。ここで $g^\varepsilon_i Q$, $f^\varepsilon_i Q$ は Q の $Cl \bigcup_{\lambda \in \Lambda - \partial^\varepsilon_i \Lambda} \overline{\Phi}(\lambda)(U)$，$Cl \bigcup_{\lambda \in \partial^\varepsilon_i \Lambda} \overline{\Phi}(\lambda)(U)$ への"制限"である。

$\underline{m} - A$ の disjoint subsets E, F に対し，

$$P_{E,F} Q = P^{\varepsilon(i_1)}_{i_1} \cdots P^{\varepsilon(i_u)}_{i_u} Q \quad \left(\begin{array}{l} E \cup F = \{i_1, \cdots, i_u\} \\ i_1 < \cdots < i_u, \\ \varepsilon(i_j) = 1 \iff i_j \in F. \end{array} \right)$$

とおく。$\left(\partial_{E,F} = \partial^{\varepsilon(i_1)}_{i_1} \cdots \partial^{\varepsilon(i_u)}_{i_u}\right.$ としておく。$\left.\right)$

$\Phi : \mathbb{Z}^{m+1} \longrightarrow PG$ をつかった iterated homotopy を次で定義する。 $B \subset \underline{m}$, $Q : [0,1]^{\underline{m}-B} \longrightarrow G$ に対し

$$C_B Q(t_1, \cdots, t_m) = \Phi(\beta_{j_1})^{(t_{j_1})} \cdots \Phi(\beta_{j_b})^{(t_{j_b})} Q(t_{k_1}, \cdots, t_{k_u}).$$

ここで $\{j_1, \cdots, j_b\} = B$, $t_{j_1} \leqq \cdots \leq t_{j_b}$, $\{k_1, \cdots, k_u\} = \underline{m} - B$, $k_1 < \cdots < k_u$ である。

これまでの定義をつかって、次の chain が定義される。

$$X_1 = \sum C_B P_{E,F} \partial_{E,F} I(\Lambda, \underline{m}-B) Q .$$

ここで、和は、$\underline{m}$ の disjoint subsets B, E, F に対してとる。X_5 を上の X_1 で I を I' にかえたものとする。X_5 と X_1 の比較から定理を証明する。

$\nu_i : \Lambda \times \{1, 2\} \longrightarrow R$ を次で定義する。

$$\nu_i(l\beta_0 + \sum l_j\beta_j , 1) = \frac{l+1-l_i}{l+2}$$

$$\nu_i(l\beta_0 + \sum l_j\beta_j , 2) = \frac{l_i+1}{l+2} .$$

$Q : [0,1]^A \to G$ に対し.

$SQ = H_A^{\delta\nu} Q$ とおく。$V \subset A$ に対し $s_V Q = (h^\nu Q)\tau_V$;

τ_V は $[0,2]^A$ 上の V の characteristic function $\in \{0,1\}^A$ だけの平行移動とする。 SQ は $[0,1]^{A\cup\{s\}}$ 上の chain として定義される（s は $\underline{m}$ の元より大きいとする）。

$$\partial_s^0 SQ = Q, \quad \partial_s^1 SQ = \sum_{V\subset A} s_V Q, \quad (\partial_j^0 - \partial_j^1) SQ = S(\partial_j^0 - \partial_j^1) Q \ (j \in A).$$

$\mu_i : (\Lambda - \{0\}) \times \{1.2\} \longrightarrow \mathbb{R}$ を次で定義する

$$\mu_i(l\beta_0 + \sum l_i\beta_i , 1) = \frac{l_i}{l+1}$$

$$\mu_i(l\beta_0 + \sum l_j\beta_j , 2) = \frac{l+1-l_i}{l+1} .$$

同様に μ_i から $s'Q$ が定義される。

E, F を $\underline{m}$ の disjoint subset とするとき、P_E^F を $\Lambda - \bigcup_{i\in E}\partial_i^0\Lambda - \bigcup_{i\in F}\partial_i^1\Lambda$, $\bigcup_{i\in E}\partial_i^0\Lambda \cup \bigcup_{i\in F}\partial_i^1\Lambda$ に関する partition とする。Q が $[0,1]^A$ 上の cube のとき P_E^F は $[0,1]^{A\cup\{p\}}$ 上の chain とする。Q の $a\bigcup_{\lambda\in\Lambda-\bigcup_{i\in E}\partial_i^0\Lambda-\bigcup_{i\in F}\partial_i^1\Lambda}\Phi(\lambda)(U)$ への制限を $g_E^F Q$ と書く。

X_2, X_4 を次で定める。和は disjoint subsets B, E, F, V についてとる。

$$X_2 = \sum C_B P_{E,F} s_V \partial_{E,F} I(\Lambda, \underline{m}-B)Q$$

$$X_4 = \sum C_B P_{E,F} s'_V \partial_{E,F} I'(\Lambda, \underline{m}-B)Q$$

X_2 と X_4 の関係を記述するのは次である。これは $I(\Lambda, \underline{m}-B)$ $I'(\Lambda, \underline{m}-B)$ の構成のしかたからいえる。

$$\overline{\Phi}(\gamma_{B\cup V}) s_V I(\Lambda, \underline{m}-B)Q = g_{B\cup V}^{\underline{m}-B-V} s'_{\underline{m}-B-V,\, \underline{m}-V} I'(\Lambda, \underline{m})Q.$$

ここで $s'_{V,V\cup W}Q = \partial_{\phi,W} s'_V Q = \partial_{W,\phi} s'_{V\cup W} Q$ である。さらに、

$$X_3 = \sum C_B P_{E,F} g^{A\cup E}_{\underline{m}-A-B-E} \partial_{E,F} s'_{A\cup E} I'(\Lambda, \underline{m}-B)$$

とおく。X_2 を $\overline{\Phi}(\gamma_{B\cup V})$ たちで変換して得られるものである。

§4. 定理の証明.

上に構成した $X_1, \cdots, X_5$ に対し、次のような $Y_1(\Lambda)Q, \cdots, Y_4(\Lambda)Q$ が具体的に構成される。

$$X_{j+1} - X_j = \partial Y_j(\Lambda)Q + \sum_{\substack{i=1\\ \varepsilon=0,1}}^{m} (-1)^{i+\varepsilon} Y_j(\partial_i^\varepsilon \Lambda)\partial_i^\varepsilon Q.$$

一方 X_1, X_5 に対し、$Y_5(\Lambda)Q$ で

$$Q + X_5 - X_1 = \partial Y_5(\Lambda)Q + \sum(-1)^{i+\varepsilon} Y_5(\partial_i^\varepsilon \Lambda)\partial_i^\varepsilon Q$$

をみたすものが得られる。これより、

$$Q = \partial Y(\Lambda)Q + \sum(-1)^{i+\varepsilon} Y(\partial_i^\varepsilon \Lambda)\partial_i^\varepsilon Q$$

となる Y が得られる。これを $Q + \sum(-1)^{|F|} D_F \partial_{\phi,F} Q$ に作用させると下の Y' が得られる。ここで $D_F = D_{j_1} \cdots D_{j_k}$, $F = \{j_1, \cdots, j_k\}$ で D_{j_ℓ} は退化作用子である。

$$Q = \partial Y'(\Lambda)Q + \sum(-1)^i Y'(\partial_i^0 \Lambda)(\partial_i^0 Q - \partial_i^1 Q).$$

こういうものが得られると [3] で使った議論により acyclicity がいえる。($Q_*^\#(G)/G \longrightarrow S_*'(G)/G$ が自明写像とチェインホモトープになる。)

実際に上の Y_i を作るのは Y_1, Y_4 では X_1, X_5 の $C_B P_{E,F}$ の後に S あるいは S' を加えればよい。Y_2 は $\underline{m}$ の disjoint subsets B, W に対し、β_0 方向を使って C_B, C_W の join を定義し、これを使って構成する。Y_3 は、$\Lambda - \partial_i^0\Lambda - \partial_i^1\Lambda$ と $\partial_i^0\Lambda \cup \partial_i^1\Lambda$ についての partition $P_i^\#$ と P_i^0, P_i^1 の比較、及び $f^{V}_{\underline{m}-V-B}\, s'_V I'(\Lambda, \underline{m}-B)Q$ は各面$(\lambda)(V)$上 degenerate であることから得られる。Y_5 は $\{0\}$ と $\Lambda - \{0\}$ に関する partition を使って作られる。

これらの構成の際に問題になるのは partition の境界としてあらわれる各面$(\lambda)(V)$上で degenerate した r の項である。($\partial PQ + P\partial Q = Q - \sum Q$ の restriction $- rQ$). これは次の定理

により解決される。

定理. 自然数 m に対し、自然数 $N(>m)$ が定まり、Λ の任意の部分集合 Θ に対し、$Cl\bigcup_{\lambda\in\Theta}\Phi(\lambda)(U_N)$ に台をもつ $m-1$ 次元以下の任意の cycle は、$Cl\bigcup_{\lambda\in\Theta}\Phi(\lambda)(U_{m+1})$ に台をもつ chain で bound される。

この定理は、我々の方法による $m-1$ acyclic の証明を、m について帰納的に、Φ の性質 (i), (ii) により、Φ を $\bigcup_{\lambda\in\Theta}\Phi(\lambda)(U_{m+1})$ に制限したものを使って、$\bigcup_{\lambda\in\Theta}\Phi(\lambda)(U_N)$ に台をもつ chain に対してそのままあてはめれば、示される。

ここで述べた定理の周辺については次の文献を参照して下さい。

[1] 数解研講究録 479 (1983) 134-162.

[2] 論説 数学 36 (1984) 320-343.

[3] Adv. Studies in Pure Math. 5 (198).

[4] 第33回トポロジー・シンポジウム講演集 (1985) 99-110.

[5] in preparation.